

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ ОАО «ГРОДНО АЗОТ» ЦИФРОВЫМ НИВЕЛИРОМ DNA 03

Канд. геогр. наук, доц. МИХАЙЛОВ В. И.

Белорусский национальный технический университет

Сущность проблемы и цифровой нивелир DNA 03. Предприятие ОАО «Гродно Азот» находится в эксплуатации более 45 лет. Поэтому все его производственные объекты (емкости по хранению жидких химических веществ, различные цеха, грануляционные башни и выхлопные трубы высотой от 100 до 150 м), а также их фундаменты постоянно подвергаются воздействию агрессивной химической среды. Геодезический мониторинг вертикальных перемещений этих сооружений в комплексе с инженерно-геологическими и геодинамическими данными способствует оценке их устойчивости, своевременному проведению профилактических мер с целью нормальной и безопасной эксплуатации всех перечисленных объектов ОАО «Гродно Азот».

Проведенные в последнее десятилетие высокоточные геодезические измерения вертикальных перемещений осадочных марок в действующих цехах показали, что существует ряд явлений, связанных с работой различных агрегатов и механизмов цехов, которые оказывают отрицательное влияние на точность геодезических измерений [1]. Это вызвано недостаточной освещенностью, турбулентностью воздуха, рефракцией, резким перепадом температур, меняющейся влажностью, влиянием электромагнитных полей, сотрясений и вибраций от работающих машин.

Средняя квадратичная погрешность (СКП) визирования при плохой освещенности может быть в три раза больше, чем при хорошей. Установлено, что расположение визирной цели в непосредственной близости (0,1–0,2 м) к агрегату увеличивает ошибку наведения в 1,5 раза.

Избеганию указанных негативных последствий при организации и проведении геодезического мониторинга вертикальных перемещений обследуемых объектов способствует применение цифрового нивелира DNA 03 [2].

Достоинство этого прибора заключается в следующем. Высокоточный нивелир предназначен для нивелирования 1-го и 2-го классов, наблюдения за осадками, промышленных измерений. Вес прибора – 2,8 кг, включая батарею. Продолжительность работы батареи питания – до 60 ч. Из цифровых нивелиров он имеет самый большой и эргономичный ЖКИ дисплей. Производительность нивелирования увеличивается на 50 % по сравнению с обычным нивелиром. Стабильные результаты достигаются с помощью автоматической компенсации измерений на влияние температуры. Камеральная обработка полностью автоматизирована, и ее можно выполнять в программах «Нивелир», CREDO или Leica Geo Office. Этот прибор позволяет только одним нажатием кнопки автоматически определять превышение, горизонт прибора, высоту точки и расстояние до нее. Ошибки наблюдателя при этом полностью исключаются. Возможность точного измерения расстояния (1/2000) от 1,8 до 110 м позволяет быстро выравнять плечи в нивелирных ходах. СКП определения превышений на 1 км двойного хода $\pm 0,3$ мм, а отсчеты по кодовой рейке берутся с точностью 0,01–0,02 мм. Результаты измерений выдаются в цифровом виде на дисплее и автоматически записываются на карту памяти нивелира. Имеется набор программ и меню пользователя, что позволяет автоматически получать конечные результаты при нивелировании.

Использование цифрового нивелира DNA 03 при мониторинге вертикальных перемещений обследуемых объектов имеет ряд специфических особенностей (критериев) и методических приемов, которые следует учитывать при нивелировании [3].

1. Смонтированные элементы технологического оборудования на несущих опорах цехов позволяют чаще всего использовать при нивелировании инварную кодовую рейку длиной 0,92 м.

2. При нивелировании 2-го класса цифровым нивелиром в производственных условиях уменьшается расстояние от нивелира до рейки в пределах 30 м, что дает возможность повысить точность геодезических измерений.

3. Поскольку отсчеты определяются автоматически по односторонней рейке, для контроля можно использовать режим многократных измерений с получением среднего результата с оценкой точности. Этот режим позволяет также повысить точность и надежность результатов измерений при значительных вибрациях изображения (рис. 1).



Рис. 1. Наведение зрительной трубы нивелира на кодовую рейку

4. В ходе нивелировочных работ в цеховых помещениях погрешности за перемещение штатива отсутствуют или они минимальны за счет бетонного основания цеха.

5. Угол i , определенный в последней поверке главного условия нивелира, автоматически фиксируется во всех отсчетах по рейке. Есть режим, в котором также учитывается поправка за кривизну земли.

6. Нивелир не позволяет взять отсчет, если его наклон выходит за рабочий диапазон компенсатора, что не исключает взятие ошибочных отсчетов по рейке.

7. Есть возможность определения отметки для заложенных высоко марок или элементов конструкций по перевернутой рейке. Нивелир автоматически распознает, что рейка перевернута, и предлагает наблюдателю перейти в режим работы с перевернутой рейкой.

8. Применение в нивелире подогрева дисплея при минусовых температурах и подсветки дисплея и уровня в темноте создает более комфортные условия для работы.

9. В приборе предусмотрена возможность уравнивания одиночных нивелирных ходов (включая и дополнительные точки) с выдачей протокола невязок и результатов уравнивания.

В качестве недостатков цифрового нивелира при работе в цеховых помещениях можно отметить следующее. В существующих инструкциях в разделе «Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями зданий и сооружений» ничего не говорится об электронных способах отсчитывания по рейкам. Поэтому отсутствует технология работ со всеми необходимыми допусками.

Геодезический мониторинг вертикальных перемещений основания хранилища жидкого аммиака. Емкости для хранения жидкого аммиака на предприятиях азотного производства относятся к объектам особой важности. В каждой из них содержится около 10 тыс. т ядовитого вещества. Особую опасность представляют два-три хранилища, сосредоточенных в одном месте. Каждый резервуар ограждается бетонной стеной высотой 10 м и трехметровым земляным валом. Стабильности таких сооружений и их безопасности в период эксплуатации уделяется большое внимание. После аварии на одном из хранилищ жидкого аммиака в 1989 г. Проматомнадзор Республики Беларусь обязал ОАО «Гродно Азот» периодически проводить геодезический мониторинг вертикальных перемещений свайного основания резервуаров и один раз в 10 лет подвергать емкости гидропневмоиспытаниям с замерами осадки основания и фундамента при максимальных нагрузках. Предлагаемая методика измерения таких осадок поможет в решении данного вопроса.

Качество результатов геодезических наблюдений зависит от количества осадочных марок и их правильного размещения. Они должны закладываться с учетом запроектированной жесткости сооружения и неравномерности давления под подошвой свай. Металлические марки диаметром 8–10 мм со сферической головкой закладываются в основания свай по двум взаимно перпендикулярным диаметрам и периметру через три-четыре сваи. Как показали результаты геодезических измерений цифровым нивелиром, такое размещение осадочных марок на свайном поле дает достаточную информацию о характере и динамике вертикальных перемещений при различном давлении. Исходная высотная основа для наблюдений – два репера, заложенные в ограждающей емкости бетонной стене.

Нивелирование проводилось при одном горизонте в прямом направлении с использованием инварной кодовой рейки длиной 0,92 м. Поперечники нивелировались с двух концов каждого диаметра.

Негативное влияние на фундаменты производственных зданий и сооружений оказывает то, что в грунты попадает большое количество ядохимикатов, а наличие сплошного водоупора в конечно-моренных отложениях обуславливает периодический подъем грунтовых вод в техногенном горизонте от 1 до 2,5 м. По данным инженерно-геологических изысканий представляется возможным предположить вариант существования единого горизонта техногенных вод, характерного для северной окраины промплощадки ОАО «Гродно Азот», где располагаются емкости с жидким аммиаком. Поэтому геодезический мониторинг вертикального перемещения свайного основания проводится в период подъема грунтовых вод (ранней весной и поздней осенью) не реже двух раз в год при минимальных и максимальных уровнях аммиака.

В ходе гидропневмоиспытания емкости измерения осадок выполняются при уровнях воды 5,8; 11,8 и 17,34 м. Масса воды в емкости при испытательном уровне составляет 1,25 максимальной массы аммиака. Испытания избыточным пневматическим давлением проводятся на уровне 16,34 м и при давлении в резервуаре 605 и 939 мм вод. ст. Рекомендуется выполнять гео-

дезические работы через 10–12 ч после достижения испытательного уровня воды. Допускается разность вертикальных перемещений диаметрально противоположных марок (крен) до 30 мм.

На продольной и поперечной осях испытываемого резервуара выбраны по девять осадочных марок, подсчитана их средняя осадка при различных испытательных уровнях, результаты которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Испытательный уровень, м	Давление, мм вод. ст.	Осадки марок, мм по оси	
		продольной	поперечной
5,8	–	–2,1	+0,1
11,8	–	–4,3	–3,1
17,34	–	–6,0	–3,2
16,34	605	–5,5	–3,6
16,34	939	–5,9	–3,5

Как следует из табл. 1, осадка свайного фундамента емкости вдоль продольной и поперечной осей неравномерная (1,5–2,0 мм). Максимальные вертикальные перемещения: –6,7; –7,3 и –8,4 мм наблюдаются при уровне воды 17,34 м. Замена 1 м воды давлением 605 и 939 мм вод. ст. практически не изменила средних показателей осадок по продольной оси. Такое испытание определяет характеристики прочности оболочки резервуара и не оказывает существенного влияния на вертикальные перемещения свайного основания. Асимметричную осадку фундамента емкости в незначительных пределах можно объяснить наличием по продольной оси локальной трещиноватости. Если грунты основания находятся в состоянии полного водонасыщения, то в этом случае физико-химические процессы при наличии техногенного фактора могут вызвать разуплотнение грунта вдоль трещин и обусловить вертикальные перемещения под большим давлением. Через семь-восемь лет эксплуатации емкости необходимо заложить две скважины по продольной оси и проводить более тщательный анализ осадок при периодическом геодезическом мониторинге.

Средняя равномерная осадка свайного основания, рассчитанная по 18 маркам для двух диаметров, при уровнях воды 5,8; 11,8; 17,34; 16,34 м

и давлениях 605 и 939 мм вод. ст. составила соответственно: -1,3; -3,7; -4,9; -4,8 и -4,9 мм.

Таким образом, вертикальные перемещения осадочных марок, расположенных по периметру свайного поля, при различных нагрузках отличаются как по знаку, так и по величине. Средние значения осадок вдоль этого направления, рассчитанные по 23 маркам, для рассматриваемых испытательных уровней соответственно равны: -0,8; -1,3; -1,6; -2,2 и -3,1 мм. Два последних показателя свидетельствуют о том, что уровень воды 16,34 м и давление 605 и 939 мм вод. ст. обуславливают большую осадку периферии емкости, чем ее центральной части.

При эксплуатации изотермических емкостей проводится периодический контроль их стабильности. Вертикальные перемещения при этом должны определяться как разности высот максимального и минимального уровней аммиака или порожнего резервуара. Поэтому эффективным считается следующий вариант расчета величин осадок свайного основания, а именно геодезический мониторинг, который проводится после гидропневмоиспытания резервуара. В течение полутора-двух лет вертикальные перемещения осадочных марок определяются по разностям высот, вычисленным по данному уровню аммиака и пустой емкости, в последующие годы – по отметкам минимальных уровней аммиака и результатам нивелирования конкретного этапа.

Геодезический мониторинг вертикальных перемещений фундаментов несущих конструкций цеха «Аммиак». Разломная тектоника и связанные с ней разломы и зоны трещиноватости, а также разрывные нарушения локального порядка имеют первоочередное значение для развития последующих природных процессов. Эта своеобразная основа находится в постоянном развитии и должна учитываться при решении различных практических вопросов, связанных со строительством и эксплуатацией инженерных сооружений.

Тектонические разломы могут оказывать негативные влияния на устойчивость промышленных объектов и служить каналами проводимости грунтовых и атмосферных вод, отходов деятельности различного производства. Поэтому в процессе эксплуатации промышленных объектов на промплощадку должна иметься

детальная карта концентрации линейных и изометричных структур с указанием их разносторонних количественных характеристик. Особое значение имеют на карте наиболее «спокойные» участки-блоки, будущие площадки под строительство. Такая карта будет полезной не только на стадии предпроектных решений, она окажет положительное воздействие на устойчивость и долговечность возводимого сооружения и может использоваться также в процессе его эксплуатации, особенно в условиях экологически опасных производств типа ОАО «Гродно Азот».

Гораздо сложнее обстоит дело на территориях ныне действующих предприятий, где отсутствуют картографические материалы, отражающие структурно-неотектонические элементы. Например, на Гродненской геотехнической системе «Азот», имеются только геологическая карта и ряд профилей, отображающих типы грунтов до глубины 2 м и подстилающие породы. В процессе инженерно-геологических изысканий УП «Геосервис» в 2005 г. было установлено, что площадка ОАО «Гродно Азот» пронизана густой сетью инженерных коммуникаций, зачастую высокого давления, из которых происходит утечка пара, воды, кислотных растворов. Так, пробуренные скважины вблизи контактного отделения цеха «Аммиак» показали в техногенном горизонте повышение уровня грунтовых вод от 3 до 4 м. Периодическими (ежемесячно) высокоточными геодезическими наблюдениями нивелиром DNA 03 (рис. 2) выявлена неравномерная осадка фундаментов колонн до 10–13 мм в год в машинном зале этого же цеха (рис. 3), что обусловило его остановку и проведение дополнительных укрепительных мероприятий.

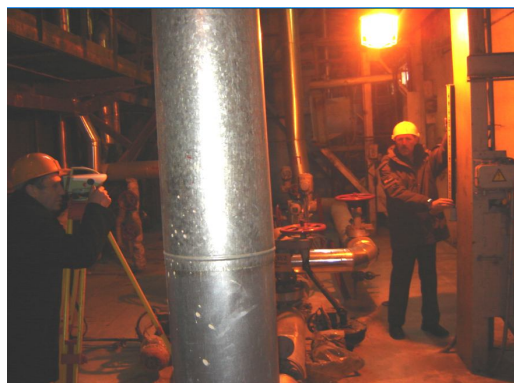


Рис. 2. Работа с цифровым нивелиром в цехе «Аммиак»

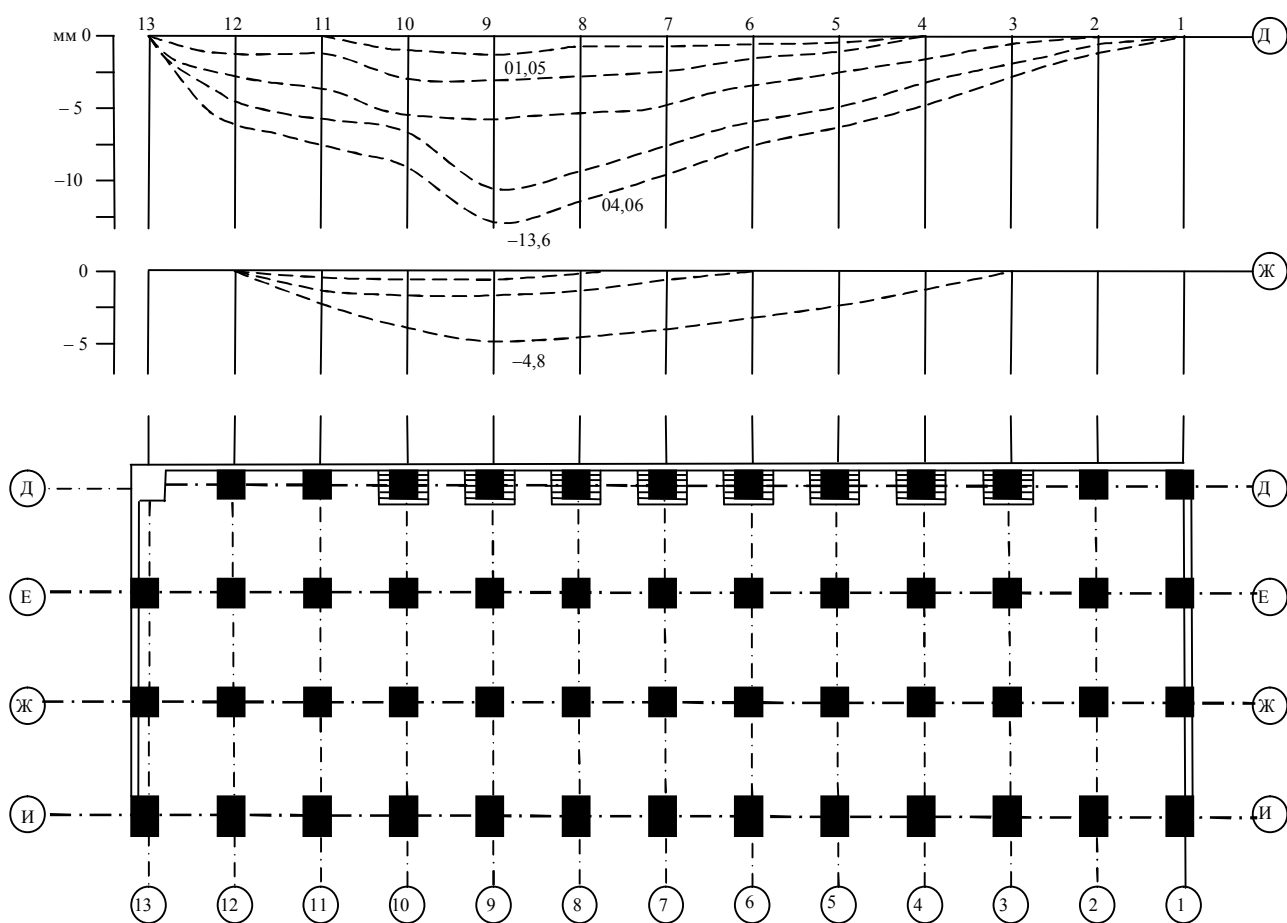


Рис. 3. Схема результатов высокоточного нивелирования осадочных марок в цехе «Аммиак»

Нахождение грунтов основания в состоянии полного водонасыщения и происходящие при этом физико-химические процессы при наличии техногенного фактора в сочетании с вибрацией оснований от работающего оборудования приводят к неравномерным осадкам. В этой связи можно предположить, что повышение уровня грунтовых вод с большим содержанием нитратов обусловлено локальной синклинальной складкой, образованной моренными глинистыми грунтами и находящейся вблизи тектонического нарушения. Разбалансированность местных геодинамических процессов, обусловленная скоплением технологической жидкости, вызвала вертикальное перемещение подстилающих пород. Это обстоятельство явилось причиной появления неравномерной осадки в указанных пределах, что привело к большим финансовым затратам на капитальное укрепление фундаментов несущих конструкций цеха и технологического оборудования.

ВЫВОДЫ

Условия химического производства на ОАО «Гродно Азот» негативно воздействуют на фундаменты несущих конструкций инженерных сооружений. Поэтому возникла необходимость в длительном систематическом контроле стабильности различных производственных объектов с применением современных геодезических приборов и разработке методики геодезического мониторинга за их вертикальными перемещениями, основные выводы которой заключаются в следующем.

1. Разработаны основные методические приемы использования цифрового нивелира DNA 03 для мониторинга вертикальных перемещений обследуемых объектов ОАО «Гродно Азот», которые могут быть приняты в качестве основы для формирования технологии работ со всеми необходимыми допусками. Они должны войти составной частью в существующие инструкции

в раздел «Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями зданий и сооружений», в том числе и в ТКП–2006.

2. Вертикальные перемещения емкости при максимальных нагрузках составили 1/6 от предельного значения, что свидетельствует о надежности фундамента изотермического хранилища и эффективности методики геодезического мониторинга с применением цифрового нивелира DNA 03.

3. Анализ динамики деформаций свайного основания емкости, рассчитанных по продольным и поперечным осям и периметру, показал, что они неодинаковы. Интерпретацию полученных данных эффективно проводить с использованием результатов инженерно-геологических изысканий.

4. Предложен способ учета геодинамических особенностей на примере промплощадки ОАО «Гродно Азот» при решении различных практических вопросов, связанных с эксплуа-

тацией производственных объектов с построением карты концентрации линейных и изометричных структур с указанием их разносторонних количественных и качественных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Михайлов, В. И.** Особенности геодезического контроля стабильности инженерных сооружений на Гродненском производственном объединении «Азот» / В. И. Михайлов // Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2000. – С. 91.
2. **Руководство** по эксплуатации DNA 03. Версия 1.2 – русская. – Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2006. – С. 135.
3. **Михайлов, В. И.** Опыт применения цифрового нивелира DNA 03 при измерении осадочных деформаций производственных объектов ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов, Г. В. Скребков, С. А. Тимошенко // Материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. БНТУ. – Минск, 2008. – С. 50.

Поступила 25.05.2009